

ASPECTOS HIDRODINÂMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE DUAS CONFIGURAÇÕES DE FILTROS ANAERÓBIOS

ALVES, M.M.⁽¹⁾; PEREIRA, M.A.⁽²⁾; MOTA, M.⁽³⁾; NOVAIS, J.M.⁽⁴⁾

RESUMO

É objectivo deste trabalho comparar o funcionamento de duas configurações de filtros anaeróbios de fluxo ascendente: uma configuração tradicional e um filtro anaeróbio segmentado em três andares. As condições operatórias foram as seguintes: Tempo de Residência Hidráulico (TRH) mantido em 2 dias, e concentração de substrato à entrada (C_e) igual a 3000 6000 e 9000 mgCQO/l. Determinou-se o padrão de escoamento dos dois digestores relacionando-se com os perfis de substrato ao longo da altura e analisou-se a sua variação com a alteração na concentração de entrada de 3000 para 9000 mg CQO/l. Para essas duas condições de concentração de substrato, mediu-se a actividade metanogénica acetoclástica e hidrogenofílica em três alturas nos dois digestores, concluindo-se que no reactor segmentado há maior tendência para a estratificação da actividade acetoclástica que no reactor mono-andar. Na gama de condições testadas os reactores funcionaram de modo semelhante, sendo a remoção praticamente completa. No reactor segmentado o rendimento em metano foi inferior ao do reactor mono-andar.

PALAVRAS CHAVE: Filtro anaeróbio. Digestor segmentado. Actividade metanogénica. Distribuição de tempos de residência.

1 - INTRODUÇÃO

O filtro anaeróbio de fluxo ascendente é um processo biológico de tratamento de efluentes com retenção de biomassa num leito fixo. A maior parte da remoção de substrato ocorre na zona inferior da coluna, essencialmente associada com a biomassa floculenta que se encontra retida nos espaços vazios do leito e não com o filme biológico que adere na superfície do suporte (Song e Young, 1986). A remoção de substrato ao longo da coluna pode ser mais ou menos rápida, dependendo do tipo de substrato, da sua concentração e do tempo de retenção.

A biomassa presente na secção inferior da coluna é sujeita a sobrecargas orgânicas coexistindo com elevados teores de ácidos voláteis, em contraste com a biomassa presente nas secções superiores, em permanente contacto com concentrações de substrato muito baixas. Este facto poderá provocar a estratificação da biomassa presente, quer em termos quantitativos como qualitativos. A existência de uma população com elevada actividade e

equilibrada em termos de composição microbiana permite minimizar os riscos de instabilidade devida a choques hidráulicos, orgânicos, de temperatura ou de tóxicos (Morgan et al., 1991).

A avaliação da actividade específica dos principais grupos tróficos presentes pode ser efectuada recorrendo aos chamados “testes de actividade metanogénica”. Existem vários métodos descritos na literatura, mas normalmente associam-se a problemas de falta de reprodutibilidade e necessidade de elevadas quantidades de biomassa, sendo, em geral, lentos e muito fastidiosos do ponto de vista prático. Normalmente estes ensaios realizam-se em reactor fechado, em que se monitoriza ao longo do tempo uma variável indicadora da actividade. Na maior parte dos métodos o indicador utilizado é a produção de metano variando fundamentalmente de uns métodos para os outros a técnica usada na medição do metano produzido.

A utilização de transdutores de pressão, sensíveis a variações de 0.005 atm, permite realizar estes testes com pequenos volumes de trabalho e constitui um método prático e reprodutível de medir o desenvolvimento de pressão devido à produção de metano (Colleran et al., 1992). Foram optimizadas as condições operatórias de volume, concentração de biomassa e substrato, agitação, fracção de volume de gás versus líquido, (Reynolds, 1988; Coates, 1991) de modo a ser garantido o máximo rigor nas determinações. Após verificação de que o aumento de pressão era proporcional à diminuição da concentração de substrato (Dolphin e Bloemen, 1985), esta técnica foi aplicada para avaliar a actividade metanogénica potencial de diferentes grupos tróficos, incluindo a actividade hidrogenotrófica. No presente trabalho este método é usado para medir a actividade metanogénica.

É objectivo deste trabalho apresentar os resultados de exploração de dois digestores para três cargas orgânicas aplicadas, relacionar o comportamento hidráulico dos mesmos com os perfis de substrato ao longo da altura e avaliar o efeito da alteração de condições operatórias na actividade metanogénica acetoclástica e hidrogenofílica.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Instalação experimental

Os reactores foram construídos em vidro acrílico e estão representados esquematicamente na Figura 1 onde constam também as suas dimensões. Como suporte usaram-se anéis de Raschig em PVC com 21 mm. O volume total dos dois reactores é 16 e 20 litros para FAI e FAII respectivamente, possuindo ambos o mesmo volume de suporte (14 litros). A área superficial e a porosidade são $230 \text{ m}^2/\text{m}^3$ e 92.5% respectivamente. Tal como indicado na figura, cada reactor possui várias portas de amostragem

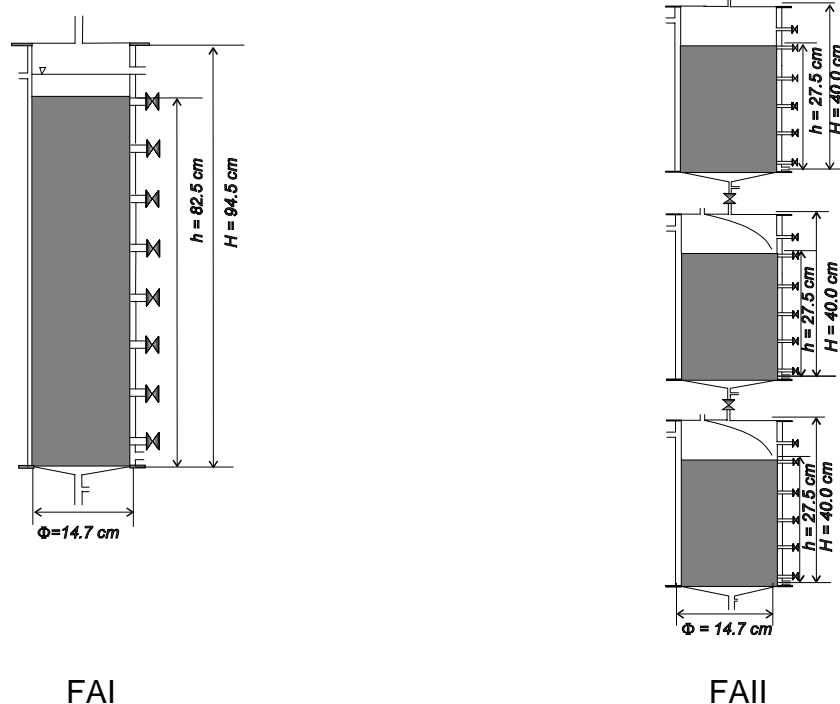


Fig. 1 -Esquema da instalação experimental.

A temperatura de operação foi mantida em $35 \pm 1^\circ\text{C}$ por intermédio de uma camisa externa de aquecimento. No reactor de três andares (FAIL) o biogás é separado e medido em cada andar. Usou-se o mesmo volume de inóculo para ambos os digestores, mas em FAIL este foi igualmente distribuído pelos três andares.

2.2 - Substrato

O substrato foi obtido por diluição de leite magro comercial com água da rede municipal tendo-se adicionado macro e micronutrientes de acordo com a seguinte composição:

Macronutrientes - $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 25.0 g/l; KH_2PO_4 : 28.3 g/l KCl : 45 g/l. Adicionaram-se 0.6 ml desta solução por cada g CQO alimentado.

Micronutrientes - $\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 2 g/l; H_3BO_3 : 0.05 g/l; ZnCl_2 : 0.05 g/l; $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 0.038 g/l; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: 0.5 g/l; $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: 0.05 g/l; $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 0.09 g/l; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 2 g/l; $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 0.092 g/l; $\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: 0.164 g/l; EDTA: 1g/l, Resazurina: 0.2 g/l; HCl 37%: 1 ml/l. (Zehnder *et al.*, 1980). Adicionou-se 0.1 ml/l desta solução.

2.3 - Métodos analíticos

A carência química de oxigénio (CQO) e os sólidos suspensos voláteis (SSV) foram realizados pelo método descrito descrito no Standard Methods, (17th ed., 1989).

Os ácidos voláteis foram determinados por cromatografia líquida (Jasco, Japão) utilizando uma coluna para ácidos orgânicos (Chrompack cat. nº 28350); o eluente usado foi ácido sulfúrico 0.01 N com um caudal de 0.70 ml/min, a temperatura da coluna era 40 °C e a detecção foi feita espectrofotometricamente a 210 nm.

A percentagem de metano foi analisada por cromatografia gasosa (Pye Unicam modelo GCD, Cambridge, Inglaterra). Utilizou-se uma coluna de enchimento Chrompack Hayesep Q (80-100 Mesh) usando azoto como gás de arraste e detecção com ionização de chama.

Nas experiências de distribuição de tempos de residência usou-se um amostrador automático New Brunswick Scientific, Mx Biosampler para recolha das amostras; o lítio foi analisado por fotometria de chama (ATS, 200MKI, Suíça).

2.4 - Testes de actividade metanogénica

Os testes de actividade metanogénica foram realizados em frascos selados em condições anaeróbias estritas. A biomassa foi incubada durante a noite a 37 °C. Após esse período de aclimação adicionou-se o substrato e iniciou-se a medição da pressão ao longo do tempo. A medição de pressão é realizada usando um transdutor de pressão portátil (Centepoints Electronics-Irlanda) que permite leituras lineares de -200 a +200 mv, correspondendo a variações de -2 a +2 atm e sensível a diferenças de 0.005 atm. Realizaram-se ensaios em branco que permitiram subtrair a actividade devida ao substrato residual. No final do teste mediram-se a percentagem de metano, os sólidos voláteis e corrigiu-se o volume de “headspace” de cada frasco. No caso dos testes para medição da actividade metanogénica hidrogenotrófica, pressurizaram-se os frascos a 1 atm com uma mistura de H₂/CO₂, (80:20) seguindo-se ao longo do tempo a diminuição de pressão associada à reacção de metanização. Todos os testes foram efectuados em triplicado.

2.5 - Modo de Operação

Seleccionou-se o período de operação a partir do 343^o dia com tempo de retenção de 2 dias e concentração de entrada (Ce) aproximada de 3000, 6000 e 9000 mgCQO/l, correspondendo a cargas orgânicas de 1.5, 3.0 e 4.5 Kg CQO/m³.dia. Durante a operação com Ce=3000 e 9000 mg CQO/l efectuaram-se ensaios de distribuição de tempos de residência com injeção de cloreto de lítio como traçador e determinou-se a actividade metanogénica acetoclástica, hidrogenofílica nos seguintes pontos: FAI - 1^a, 3^a e 6^a portas; FAII - As primeiras portas de cada andar que se encontram à mesma altura (em termos de altura de leito) dos pontos de FAI (Fig.1).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Operação dos digestores

Nas tabela II e III apresentam-se os dados relativos à operação dos reactores nos períodos seleccionados.

Tabela II - Dados operatórios e resultados relativos à operação de FAI

Tempo (dias)	HRT (dias)	Ce (mgCQO/l)	Cs (mgCQO/l)	Bv (KgCQO/m3.dia)	E (%)	CH4 (%)	biogás (l/l.dia)
[343-430]	1,92±0,01	2948,1±60,6	62,2±7,3	1,55±0,07	97,9±0,3	65,3±0,5	0.86±0,04
[430-495]	1,92±0,01	5911,3±293,3	130,0±32,4	3,02±0,15	97,7±0,6	64,8±0,6	1,77±0,12
[495-596]	1,92±0,01	8836,6±410,9	157,0±33,6	4,52±0,22	98,2±0,4	62,3±1,3	2.65±0,09

Tabela III - dados operatórios e resultados relativos à operação de FAII

Tempo (dias)	HRT (dias)	Ce (mgCQO/l)	Cs (mgCQO/l)	Bv (KgCQO/m3.dia)	E (%)	CH4 (%)	biogás (l/l.dia)
[343-430]	2,06±0,01	2952,5±60,6	59,4±7,8	1,44±0,40	98,0±0,3	67,0±6,9	0,72±0,05
[430-495]	2,06±0,01	5911,3±293,3	67,6±16,4	2,81±0,13	98,8±0,3	64,4±5,0	1,50±0,08
[495-596]	2,06±0,01	8836,6±410,9	175,1±55,8	4,34±0,21	97,9±0,7	61,0±6,3	2,29±0,08

Tal como pode ser observado da tabela, as cargas orgânicas foram muito semelhantes para os dois digestores bem como as eficiências de remoção em termos de CQO solúvel. A produção de biogás por litro de reactor e o rendimento em metano foram superiores em FAI (Fig.2).

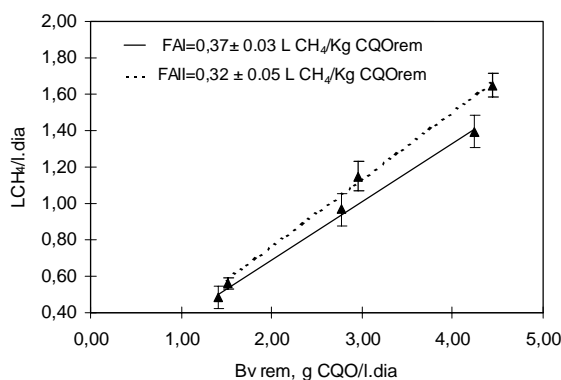


Fig. 2 - Rendimento em metano dos dois reactores na gama de condições estudadas

Isto significa que em FAII uma maior parte da carga orgânica foi canalizada para a formação ou manutenção da biomassa. Na Figura 3 estão

representados os perfis de CQO solúvel e CQO devido aos ácidos voláteis ao longo da altura dos dois reactores. É observado que é na secção inferior de cada reactor que se dá a maior remoção de substrato, permanecendo em média cerca de 60% do volume com concentrações de substrato muito baixas, semelhantes às de saída. Este facto tem relação com o comportamento hidrodinâmico dos reactores.

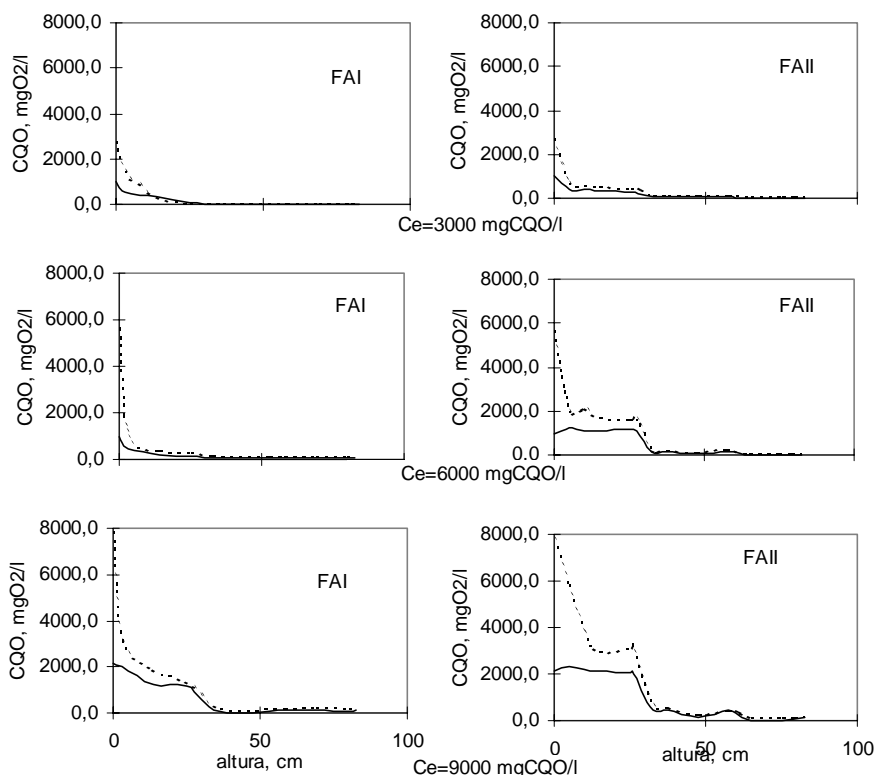


Fig. 3 - Perfis de CQO solúvel e CQO dos ácidos voláteis ao longo da altura dos dois reactores. (— CQO dos ácidos voláteis; CQO solúvel).

3.2 - Estudos de hidrodinâmica

Na tentativa de relacionar os perfis de substrato com o comportamento hidrodinâmico dos digestores, foram feitas experiências de distribuição de tempos de residência (DTR) para cada reactor, nas condições de $C_e = 3000$ mg CQO/l e $C_e = 9000$ mgCQO/l. Nestas condições a produção de biogás e os sólidos voláteis aumentaram consideravelmente (Tabela III, Fig.4). A eficiência de remoção era praticamente completa ($>97\%$) e os perfis de substrato apresentavam o mesmo tipo de comportamento (Fig.3). Convém realçar que os valores representados na Fig. 4 se referem apenas à biomassa que se encontrava suspensa nos espaços vazios da matriz e que foi amostrada em quantidade representativa para a realização de testes de actividade.

Tabela III - Produção de biogás (l/dia)

Ce, mg CQO/l) >	3000	9000
FAII-1º andar	9.4	21.9
FAII-2º andar	2.5	15.1
FAII-3º andar	0.9	3.4
<i>total FAII</i>	12.8	40.4
<i>total FAI</i>	12.2	37.6

Resultados de outras experiências realizadas revelaram que, para este tipo de substrato e suporte e para condições experimentais semelhantes às aqui consideradas, apenas cerca de 8% da biomassa total representava um filme aderido na superfície do suporte.

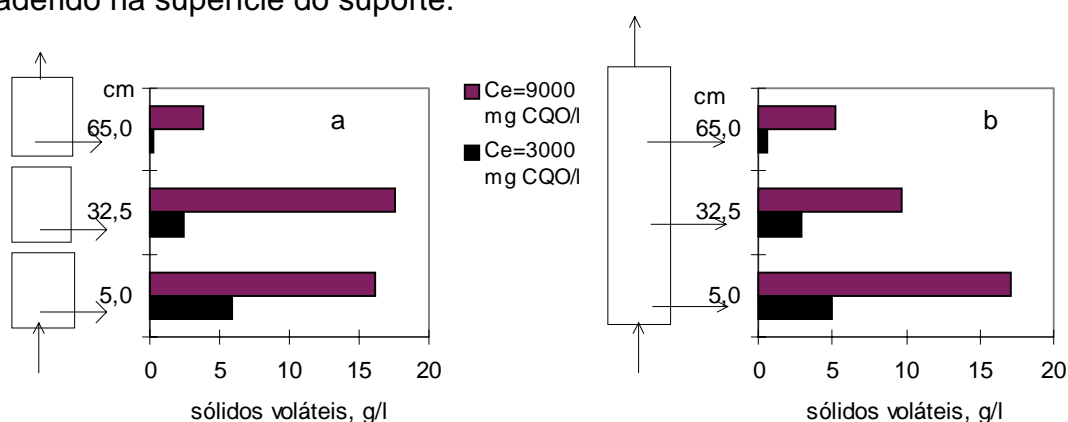


Fig. 4 - Variação da concentração de sólidos voláteis ao longo da altura de (a) FAII, (b) FAI, para as condições de Ce=3000 e Ce=9000 mg CQO/L.

Esse facto justifica que se possa considerar a biomassa suspensa/oclusa como sendo representativa da biomassa presente nos reactores. Verifica-se que em FAII houve um maior aumento da concentração de sólidos voláteis dentro do reactor (Fig.4), o que está de acordo com o facto de o rendimento em metano ter sido inferior neste reactor.

As experiências de DTR realizadas permitiram avaliar de que modo estas alterações afectaram o padrão de escoamento nos dois reactores. Na Fig. 5 estão representadas as curvas experimentais e respectivo modelo para o reactor FAI, nas duas condições de concentração de entrada. Os parâmetros do modelo foram calculados por regressão não linear pelo método de Levenberg-Marquardt usando a "Optimization Toolbox" do programa Matlab (The Matworks, Inc.) O modelo que melhor se ajusta aos dados experimentais foi proposto por Young e Young em 1988 e pressupõe a existência de vários compartimentos (Fig.5) que no presente caso, para ambas as condições se distribuem do seguinte modo: uma célula perfeitamente agitada (cerca de 6% do volume total) que representa a entrada dos reactores, seguida de uma zona do tipo pistão que representa

cerca de 20% da altura do reactor (onde na realidade se dá o maior consumo de substrato), em paralelo com uma zona morta que pode representar a biomassa acumulada no fundo da coluna e por último o restante volume (cerca de 70 a 80%) é perfeitamente agitado.

Modelo de três parâmetros (Young e Young, 1988)

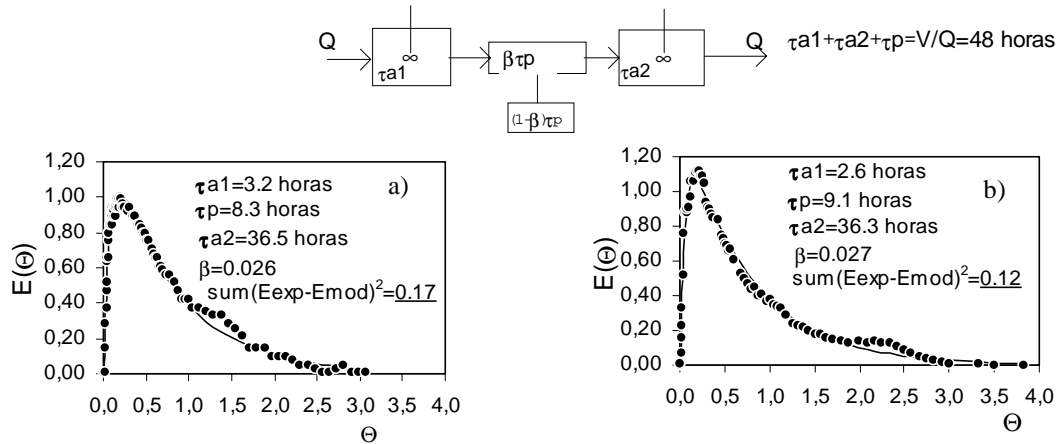


Fig.5 - Distribuição de tempos de residência em FAI para duas condições operatórias. (a) $C_e = 3000$ mg CQO/l; (b) $C_e = 9000$ mg CQO/l (* dados experimentais; — modelo).

As variações verificadas para o modelo de escoamento nas duas condições testadas foram muito pequenas (Fig. 5), o que é inesperado, dado o elevado aumento da produção de gás e da biomassa. Uma possível explicação para o facto é a impossibilidade de diferenciar, com esta técnica estímulo-resposta, entre os vários tipos de zonas de inacessibilidade da fase líquida (Young e Young, 1988). É possível que, para $C_e = 3000$ mg/l existissem zonas mortas hidráulicas pela ineficiente mistura devida às baixas produções de gás, que no segundo caso ($C_e = 9000$ mg CQO/l) tenham sido substituídas, em termos de volume equivalente, por biomassa.

No reactor segmentado FAI, contudo, verificou-se uma significativa alteração do tipo de escoamento, que se traduziu na alteração do modelo descritivo do comportamento (Fig. 6). Nas condições de $C_e = 3000$ mg CQO/l, no 2º e 3º andares praticamente não existia produção de gás sendo o gás produzido no 1º andar retirado do contacto com o líquido nas secções a jusante. Neste caso, o escoamento foi modelizado por uma série de três células perfeitamente agitadas. Para $C_e = 9000$ mg CQO/l o comportamento hidrodinâmico assemelha-se ao do reactor monoandar, sendo descrito pelo mesmo modelo, variando embora os valores dos parâmetros, nomeadamente β que é significativamente maior, indicando uma maior predominância do carácter pistão.

O facto da concentração de substrato não variar apreciavelmente a partir de cerca de 30 % da altura dos reactores significa que esse volume é aparentemente bem agitado, o que se comprova pelos modelos de escoamento.

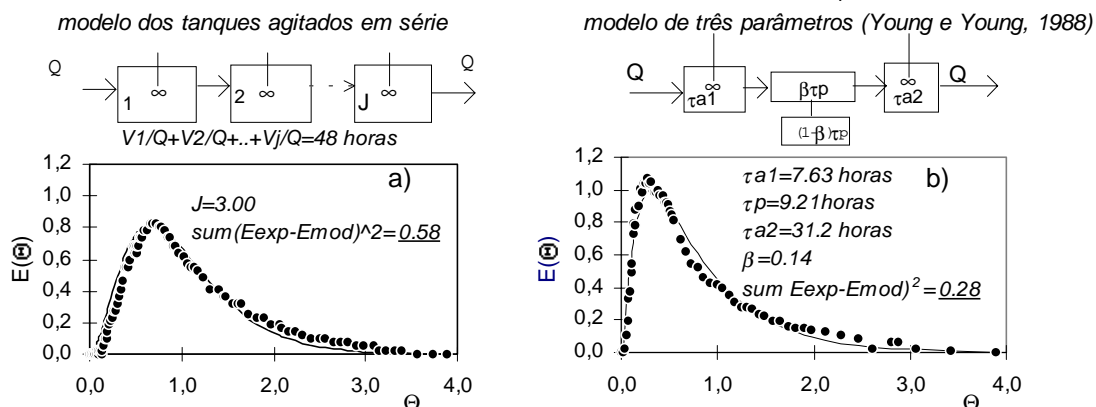


Fig. 6 - Distribuição de tempos de residência em FAIL para duas condições operatórias. (a) $C_e=3000 \text{ mgCQO/l}$; (b) $C_e=9000 \text{ mg CQO/l}$. (* dados experimentais; — modelo).

3.3-Estudo da actividade metanogénica acetoclástica e hidrogenofílica

Na Figura 7 está representada a actividade acetoclástica, para os dois reactores e para as duas concentrações de entrada.

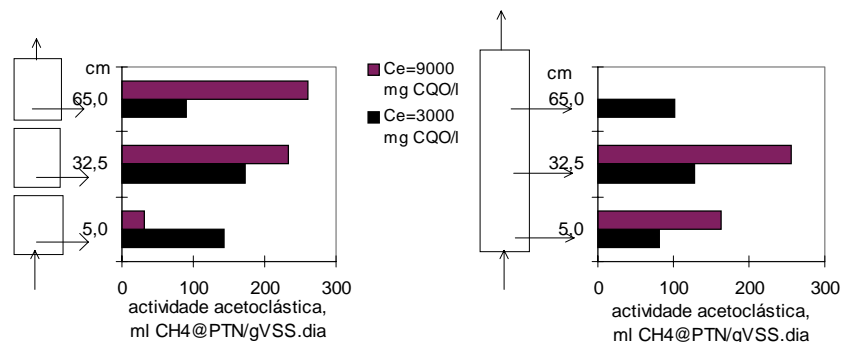


Fig. 7 - Perfis de actividade acetoclástica ao longo da altura dos dois reactores para as duas condições estudadas

A alteração nas condições operatórias provocou uma acentuada variação da actividade acetoclástica nos dois reactores, sendo evidente em FAIL uma maior tendência para a estratificação que em FAI. De facto, no primeiro andar de FAIL, a actividade acetoclástica diminuiu consideravelmente com o aumento da concentração de substrato.

Relativamente à actividade hidrogenofílica (Fig.8) não se verifica uma tendência tão acentuada para a estratificação, embora a actividade seja crescente da base para o topo dos reactores. O aumento da concentração de entrada provocou apenas ligeiros aumentos nesta actividade em quase todos os pontos caracterizados e em FAIL foi sempre superior que em FAI.

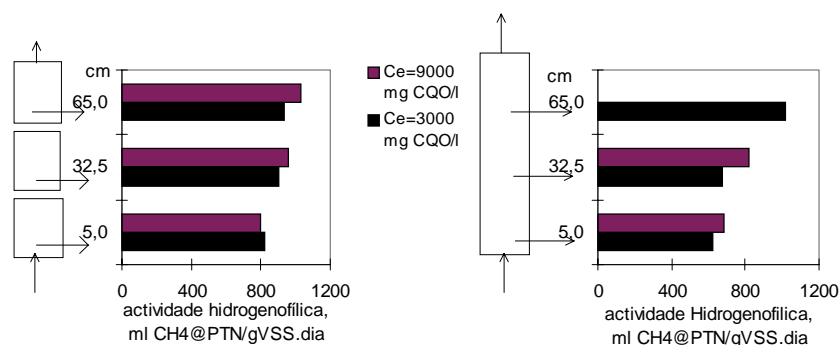


Fig. 8 - Perfis de actividade hidrogenofílica ao longo da altura dos dois reactores para as duas condições estudadas

4 -CONCLUSÕES

O presente trabalho que teve por base o estudo comparativo de duas configurações de filtros anaeróbios permitiu concluir o seguinte:

- na gama de condições testadas os reactores apresentavam igual eficiência de remoção sendo o reactor monoandar mais rentável em termos de metano produzido. Os perfis de substrato ao longo de ambas as configurações foram do mesmo tipo apresentando-se parte do reactor em contacto com concentrações de substrato muito baixas.
- O comportamento hidrodinâmico foi modelizado e está de acordo com os perfis de substrato determinados.
- A actividade metanogénica acetoclástica sofreu grandes variações com o aumento da concentração de entrada nos dois reactores, notando-se uma maior tendência à estratificação no digestor segmentado.
- A actividade hidrogenofílica aumentou ligeiramente com o aumento da concentração de entrada, não se verificando uma tendência tão acentuada para a estratificação como da actividade acetoclástica.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COATES, J.D. (1991) Development, Characterisation and Stabilisation of Granular Methanogenic Sludge. *Ph.D. Thesis*, National University of Ireland, Galway.
- COLLERAN, E., CONCANNON, F., GOLDEM, T., GEOGHEGAN, F., CRUMLISH, B., KILLILEA, E., HENRY, M., COATES, J. (1992) Use of Methanogenic Activity Tests to Characterize Anaerobic Sludges, Screen for Anaerobic Biodegradability and Determine Toxicity Thresholds Against Individual Anaerobic Trophic Groups and Species. *Wat. Sci. Technol.*, **25**, 31-40.
- DOLFING, J., BLOEMEN, W.G.B.M. (1985) Activity Measurements as a tool to Characterize the Microbial Composition of Methanogenic Environments. *J. Microbiol. Methods*, **4**, 1-12.
- MORGAN, J.W.; EVISON, L.M.; FORSTER, C.F., (1991). Changes to the Microbial Ecology in Anaerobic Digesters Treating Ice Cream Wastewater during Start-Up, *Water Res.*, **25**:6, 639-653.
- REYNOLDS, P.J. (1986) Support Matrix and Feed Flow Effects in Anaerobic Fixed Bed Reactors, *PhD Thesis*, University College of Galway, Ireland.
- SONG, K.-H.; YOUNG, J.C., (1986). Media Design Factors for Fixed-Bed Filters, *J. Water Pollut. Control Fed.*, **58**:2, 115-121.
- YOUNG, H.W., YOUNG, J.C. (1988) Hydraulic Characteristics of Upflow Anaerobic Filters, *J. Environ. Eng. Div. ASCE*, **114**:3, 621-638.